



## ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕБОТАНИЧЕСКОГО МЕТОДА УКОЛОВ В УСЛОВИЯХ МАСШТАБИРОВАНИЯ ПЛОЩАДИ УЧЕТА

О.В. Созинов<sup>1</sup>, Г.Н. Бузук<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Беларусь, 230023, г. Гродно, ул. Э. Ожешко, 22

<sup>2</sup> Витебский государственный медицинский университет, Беларусь, 210023, г. Витебск, пр-т. Фрунзе, 27

E-mail: ledum@list.ru; buzuk@tut.by

С помощью информационных технологий в геоботаническом методе уколов определили число линий (5–8) и точек на линии (20–25), позволяющие получить точность учета проективного покрытия растений в пределах погрешности  $\pm 5$ –10%. Разработан алгоритм использования метода уколов (точек) на больших территориях.

Ключевые слова: проективное покрытие растений, метод уколов, пробная площадь, учетная площадка, точность учета, геоботанические методы.

### Введение

В геоботанике и ботаническом ресурсоведении при изучении ценопопуляций видов растений или фитоценозов всегда стоит вопрос соотношения количества учетных единиц (метровок, трансект/линий, точек/уколов) и качества получаемых фитоценологических данных [1–3], а также о возможности применения геоботанических методов оценки популяций растений в различных масштабах.

В настоящее время многими геоботаниками и экологами растений для определения проективного покрытия растений используется модифицированный метод уколов (точек) – метод линий точек [4–10]. Количество повторностей (точек) в методе уколов для получения достоверных данных находятся в прямой зависимости от однородности растительного покрова, состава, распределения видов, уровня нарушений и эксплуатации, но мало зависит от размера изучаемой площади [11, 12]. Из этого следует, что данный методический подход возможно применять как в пределах учетных площадок, пробных площадей, так и всего фитоценоза. Вместе с тем, при полевых исследованиях желательно знать оптимальное количество учетных единиц (уколов/точек) для решения проблемы точности учета проективного покрытия видов растений, трудоемкости полевых работ и сохранности живого напочвенного покрова, что особенно важно при мониторинге растительности или ценопопуляций, а также репрезентативную площадь точек (учетных (или пробных) площадей) при изучении большой территории.

В геоботанической литературе [1, 2, 4–13] приведен широкий диапазон количества точек при изучении различных фитоценозов. Например, для пастбищ удовлетворительные данные для доминантов получены при 100 точках, для субдоминантов – от 400 до 500 точек [11], другие авторы указывают от 750 до 3000 и более точек [12].

Исследователями отмечено, что на достоверность данных влияет диаметр спиц, архитектура растений, ветер, уровня сомкнутости и разновысотности яруса, какая часть растения учитывается (основание, лист, побеги и т. д.) [11]. С помощью точечного метода можно измерять не только покрытие, но и общую площадь надземных частей растений [13]. Отмечено, что наиболее удобно применять точечный метод при небольших площадях исследования в изучении травостоев дерновинных злаков или избилующими растениями кустовой формы роста [12].

Как тип учетной площадки, точки обладают одновременно достоинством квадратов и линейных трансект: определенностью фиксированной площади, достаточной объективностью получаемых данных, быстротой проведения и малой трудоемкостью исследования, значительной величиной участка, охватываемого анализом [12].

Целью настоящей работы явились оценка точности определения проективного покрытия растений точечным методом (метод уколов) при различном количестве точек (уколов), а также определение площади точек (учетных площадок, пробных площадей) при масштабировании с помощью информационных технологий.

### Объекты и методы исследования

Оценка влияния количества точек и линий точек на точность определения проективного покрытия растений по виртуальным учетным площадкам.



Для проверки точности учета проективного покрытия растений с помощью точечного метода использовали программы ImageJ [14] и Matlab.

В программной среде ImageJ нами созданы черно-белые рисунки вариантов проективного покрытия с размером матрицы 400×400 пикселей путем генерации точек размером в 25 пикселей, расположенные случайным образом на матрице изображения. Общая выборка – 30 матриц. Все полученные изображения затем нами преобразованы в цифровые форматы и импортированы в Matlab.

В среде Matlab с помощью специальной, разработанной нами программы, на матрицу изображения с различными уровнями проективного покрытия разместили сеть из различного количества линий (от 1 до 10) с различным количеством математических точек (от 1 до 50) расположенные регулярно на линии (рис. 1).

В каждой точке сети определяли цвет пикселя черно-белого изображения: «белый» – фон (почва) и «черный, или растительный» – надземные части растений.

Проективное покрытие рассчитывали по формуле [8]:

$$ПП = \frac{n}{N} \times 100, \tag{1}$$

где ПП – проективное покрытие, в %; n – число точек с «растительными пикселями (черными)»; N – общее число точек на матрице изображения, равное произведению числу линий на число точек в линии.

Среднеквадратическую ошибку определения (Root Mean-square Error, RMSE) рассчитывали по формуле [15]:

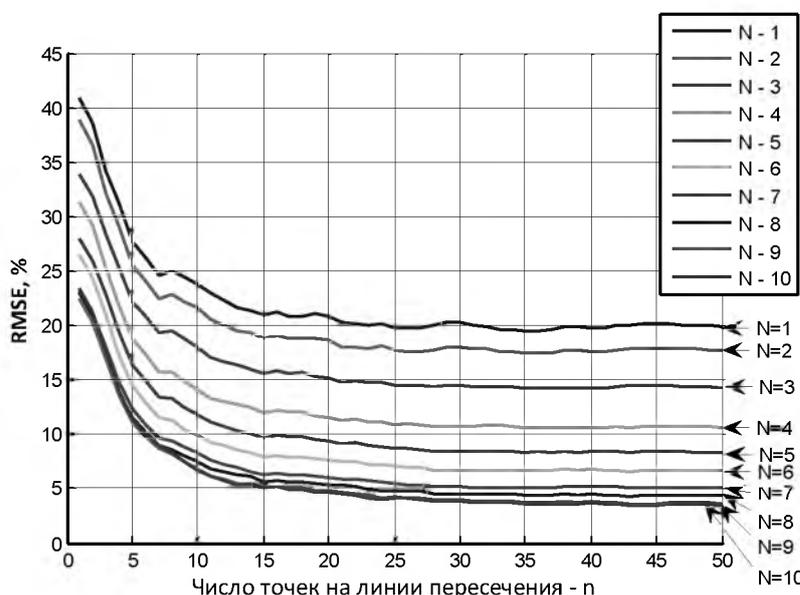
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}, \tag{2}$$

где RMSE – среднеквадратическая ошибка определения проективного покрытия (квадратичное отклонение); *obs,i* – реальное проективное покрытие, в %; *model,i* – учетное проективное покрытие, в %; n – число матриц изображения (30 единиц). RMSE (квадратичное отклонение) – является устойчивым показателем точности при сравнении ошибки прогнозирования различных моделей для конкретной переменной [16].

Для перехода от компьютерного моделирования с матрицами изображений учетных площадок к реальным пробным площадям на местности нами рассчитаны размеры пикселя для точек (пробных площадей) в порядке увеличения их площади. Общая территория исследования принимается нами за пробную площадь, например, а точки (уколы) – аналог учетных площадок на классической пробной площади.

### Результаты и их обсуждение

Определение оптимального количества точек (уколов) на линию и количества линий.



Анализ полученных данных в результате компьютерного моделирования выявил, что точность определения резко увеличивается (значение RMSE, соответственно, снижается) при увеличении числа линий до 5 (точность определения лежит в пределах ±10%) или до 8 (точность определения лежит в пределах ±5%) при наличии 20–25 точек на линии (рис. 1), т.е. в сумме 100–200 точек на пробную площадь. При этом необходимо помнить, что компьютерное моделирование осуществляется по математическим точкам, тогда как в реально-

Рис. 1. Изменчивость квадратичного отклонения при определении проективного покрытия растений методом точек: RMSE, % – квадратичное отклонение; N-1 – одна линия, N-2 – две линии, N-3 – три линии и т. д., до 10 линий (N-10)



сти иглы (спицы) имеют диаметр, который влияет на точность учета обилия [13]. Анализ полученных данных показал, что увеличение числа точек на линии свыше 25 не оказывает существенного влияния на повышение точности определения проективного покрытия. Также отсутствует существенное влияние размера исходных матриц изображения (200×200, 400×400, 800×800) на точность определения проективного покрытия виртуальных растений.

Зависимости квадратичного отклонения (RMSE) от числа точек на линии корректно аппроксимируются аллометрической функцией (рис. 2):

$$N = b \times x^k, \quad (3)$$

где  $N$  – число точек на линии;  $b$  и  $k$  – коэффициенты уравнения;  $x$  – RMSE, %.

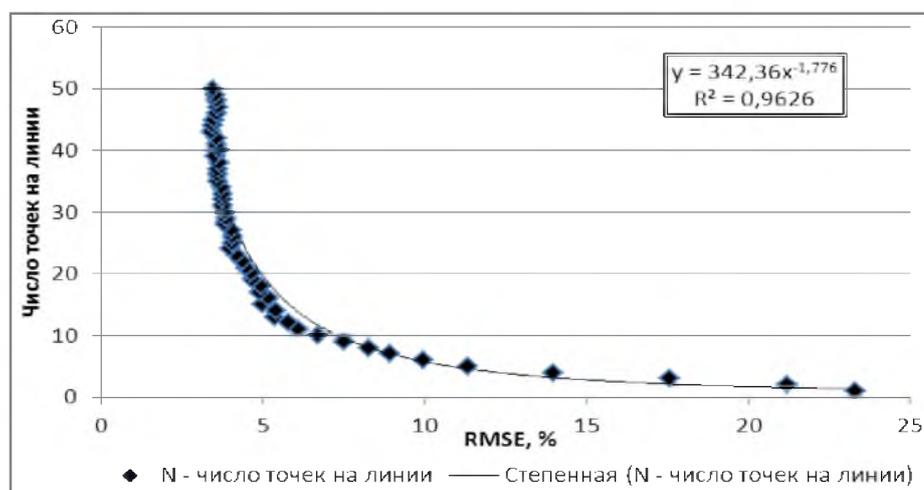


Рис. 2. Зависимость квадратичного отклонения (RMSE) от количества точек на линии при 10 линиях (трансектах)

Число точек на линии для заданной точности (по RMSE) рассчитывают по уравнению (3), используя значения коэффициентов для различного числа линий (табл. 1). Также возможно определить для конкретных научно-исследовательских задач необходимое количество линий (трансект) при заданной точности (табл. 1).

Таблица 1

**Значения коэффициентов уравнения (3) для определения количества точек на линии при заданном значении квадратичного отклонения (RMSE)**

n	b	k
1	59221900	-4.84383
2	10526176	-4.43561
3	1358533	-4.00691
4	61553.31	-3.19433
5	12611.6	-2.80257
6	3542.321	-2.46258
7	1260.201	-2.22323
8	732.2719	-2.05989
9	406.215	-1.86216
10	342.3596	-1.77607

Примечание:  $n$  – число линий (см. рис. 3);  $b$  и  $k$  – см. уравнение (3).

Ранее нами [4] предложен способ определения проективного покрытия растений, основанный на размещении в цифровом изображении учетной площадки (фотоплощадка) регулярной сетки из точек (100–500) с последующим полуавтоматическим подсчетом точек, локализованных на поверхности исследуемых видов растений (метод фототочек – цифровой аналог метода уколов).

Таким образом, с помощью информационных технологий выявлено оптимальное количество точек (уколов), приходящихся на линию (трансекту) в модифицированном точечном методе (метод фототочек): 20–25 точек на линию при 5–8 линиях на изучаемую пробную пло-



щадь. Это позволяет получить точность учета проективного и истинного покрытия видов растений с RMSE  $\pm 5-10\%$ , в первую очередь, при использовании фотоплощадок.

Определение площади точек (учетных площадок) при исследовании больших территорий.

В связи с тем, что количество повторностей (точек) в методе уколов для получения достоверных данных в поле мало зависят от размера изучаемой площади [11, 12], а также нами доказана данная закономерность на виртуальных моделях, данный метод можно использовать и при исследовании больших территорий.

Анализ полученных данных компьютерного моделирования в формате различного масштаба при условии наличия у точки (укола) площади показал, что для учетной площадки 1 м<sup>2</sup> соответствующая площадь пиксела (точки) составляет  $0.25 \times 0.25 = 0.0625$  см<sup>2</sup> (табл. 2), что находится в пределах толщины спицы (укола) или лазерного луча, применяемого при определении проективного покрытия методом уколов в полевых условиях [5–10].

Таблица 2

**Соотношение размеров пиксела (точки) на местности с размерами реальной площади исследования (пробной площади) при матрице изображения 400×400**

Размер площади исследования на местности n×m, м	Размер пиксела (точки) на местности в пределах площади исследования d×p, см
1×1	0.25×0.25
5×5	1.25×1.25
10×10	2.5×2.5
50×50	12.5×12.5
100×100	25×25
200×200	50×50
300×300	75×75
400×400	100×100
500×500	125×125
600×600	150×150
700×700	175×175
800×800	200×200
900×900	225×225
1000×1000	250×250

Соответственно, для площади геоботанического или ресурсоведческого исследования размером 100×100 м (1 га) размер пикселя (точки) составляет 25×25 см, что может быть использовано для определения проективного покрытия и встречаемости определенных видов растений, а также урожайности не крупных травянистых растений (брусника, земляника, бессмертник) в заданной точке путем заготовки лекарственного растительного сырья с учетной площадки размером 25×25 см и последующим пересчетом на единицу площади с учетом встречаемости вида. При размерах площади учета 1000×1000 м размер пикселя (точки) на местности увеличивается до 250×250 см. Такой размер учетной площадки (точки) также возможно использовать при оценке обилия и встречаемости растений, и достаточен для определения на большой территории (1 км<sup>2</sup>) урожайности крупных травянистых растений (таволга) и кустарников (ивы, багульник) с последующим пересчетом на единицу площади. В случае почвопокровных или стелющихся травянистых растений (сабельник, чабрец) возможно использование на «пиксельной» площадке (пробной площади) размером 250×250 см серии учетных площадок, например, 25×25 см (1%) с последующим пересчетом массы растительного сырья с учетных площадок на массу сырья с единицы площади (урожайность) [17].

#### Полевые исследования с применением метода уколов

Используя топографические, геоботанические, почвенные и др. карты, лесотаксационные и землеустроительные данные, снимки земной поверхности GoogleMaps и программу OziExplorer (или их аналоги), определяют территорию исследования (например, болотный



массив, пойма реки, полигон, заказник). Далее размещают градусную сетку с фиксированным шагом на снимки исследуемой территории и отмечают точки (учетные площадки) в ее узлах, что дает высокий уровень рандомизации. В узлах градусной сетки фиксируются учетные точки (для получения точности около 5% не менее 7 линий по 25 точек и не менее 5 линий по 20-25 точек для точности в пределах 10%), координаты которых затем копируют в GPS-навигатор с программой Locus Pro (<http://www.locusmap.eu/>). На 1 км<sup>2</sup> оптимальна сетка при шаге 4.5 секунды для равномерного размещения 100 точек. При полевых работах руководствуясь GPS-навигатором (точность позиционирования  $\pm 2-3$  м), посещают каждую точку, где закладывают учетную площадку площадью в зависимости от масштаба исследуемой территории (см. табл. 2). На каждой учетной площадке в зависимости от задач исследования, фиксируют уровень наличия или отсутствия вида (видов), проективное покрытие, ресурсную продуктивность и т.д. Полученные данные предлагаемым способом, возможно использовать 1) для построения разнообразных ботанических карт: распространения отдельных видов (в первую очередь редких и ресурснозначимых), их обилия (проективное покрытие, продуктивность и т.д.), 2) для выявления регрессионных зависимостей связывающих массу растений с их линейными размерами, или урожайность с проективным покрытием [18], 3) в зоологических и микробиологических исследованиях малоподвижных объектов, а также 4) при изучении фрактальности параметров растительного покрова.

### Заключение

В результате компьютерного моделирования учитывая соотношение точность/трудозатраты получения данных, выявлено, что 100 точек (уколов) на изучаемую площадь позволяют получить данные абсолютного проективного покрытия видов растений со среднеквадратической ошибкой определения  $\pm 10\%$ . Определено соотношение реальных размеров точки (укола) на местности с размерами реальной площади исследования (пробной площади), что дает возможность применять метод уколов в геоботанических и ресурсоведческих исследованиях на больших территориях.

### Список литературы

1. Грейг-Смит П. Количественная экология растений. – М., 1967. – 359 с.
2. Методы изучения лесных сообществ. – СПб. – 2002. – 240 с.
3. Ярошенко П.Д. Геоботаника. – М., 1969. – 200 с.
4. Бузук Г.Н. Определение проективного покрытия и урожайности при использовании фототочек (photo point method) // Вестник фармации. – 2013. – №3. – С. 74–80.
5. Brady W.W., Mitchell J.E., Bonham C.D., Cook J.W. Assessing the power of the point-line transect to monitor changes in plant basal cover // *J. Range Manage.* – 1995. – Vol. 48. – Pp. 187–190.
6. Floyd D.A., Anderson J.E. A comparison of three methods for estimating plant cover // *J. Ecol.* – 1987. – Vol. 75. – Pp. 221–228.
7. Comparison of three vegetation monitoring methods: Their relative utility for ecological assessment and monitoring / H. Godinez-Alvarez, J.E. Herrick, M. Mattocks et al. // *Ecological indicators.* – 2009. – Vol. 9. – Pp. 1001–1008.
8. Monitoring manual for grassland, shrubland and savanna ecosystems / J.E. Herrick, J.W. Van Zee, K.M. Havstad et al. // *USDA-ARS Jornada Experimental Range Las Cruces, New Mexico.* – 2005. – Vol. 1–2. – 238 p.
9. Sampling vegetation attributes. Interagency technical reference bureau of land management National Business Center. – Denver, Colorado, 1999. – 164 p.
10. A Laser point frame to measure cover / L.K. VanAmburg, D.T. Booth, M.A. Weltz, M.J. Trlica // *Rangeland ecol. manage.* – 2005. – Vol. 58. – Pp. 557–560.
11. Браун Д. Методы исследования и учета растительности. – М., 1957. – 316 с.
12. Полевая геоботаника. – М.-Л., 1964. – Т. III. – 532 с.
13. Василевич В.И. Статистические методы в геоботанике. – Л., 1969. – 232 с.
14. Schneider C.A., Rasband W.S., Eliceiri K.W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis // *Nature Methods.* – 2012. – №9. – Pp. 671–675.
15. Kramer R. Chemometric techniques for quantitative analysis. – New York, Basel, 1998. – 110 p.
16. Hyndman R.J., Koehler A.B. Another look at measures of forecast accuracy // *International Journal of Forecasting.* – 2006. – Vol. 22. – Pp. 679–688.
17. Буданцев А.Л., Харитонов Н.П. Ресурсоведение лекарственных растений: Метод. пособие к произв. практике для студентов фармацевт. факульт. / М-во здравоохранения Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. хим.-фармацевт. акад.. – СПб, 1999. – 56 с.
17. Методика оценки продуктивности лекарственных видов в растительных сообществах, описанных в системе единиц эколого-флористической классификации Браун-Бланке / Н.И. Федоров, С.Н. Жигунова, О.И. Михайленко, Л.Ю. Самойлова // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* – 2010. – Т. 12; №1 (3). – С. 846–84.



## OPTIMIZATION OF GEBOTANICAL METHOD OF POINTS IN TERMS OF SCALING THE ACCOUNTING PLOT

**O.V. Sozinov<sup>1</sup> G.N. Buzuk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Grodno Yanka Kupala State University, 22 Ozheshko St, Grodno, 220023, Belarus*

<sup>2</sup> *Vitebsk State Medical University, 27 Frunze Ave., Vitebsk, 210023, Belarus*

*E-mail: o.sozinov@grsu.by;  
buzuk@tut.by*

Using information technologies in geobotanical method of points (lines points) the number of lines (5-8) and points on the line (20-25) have been determined. This allows to get the accuracy of the projective cover account within the error  $\pm 5-10\%$ . The algorithm of injections method (points) using for large areas has been developed.

Keywords: plants projective cover, the method of injections, plot, accounting plot, accuracy of the account, geobotanical methods.